

# مطالعات شبیه‌سازی دانه ریز در فرایند تزریق گاز در یکی از مخازن کربناته ایران

غلامرضا بشیری، قربانعلی صبحی و امیر عباس عسگری  
مرکز مطالعات اکتشاف و تولید، پژوهشگاه صنعت نفت

## چکیده

بهینه‌سازی مدل کامل مخزن به کار گرفته شد. نتایج شبیه‌سازی مشخص می‌کند که فرایند تزریق گاز به عنوان مکانیزم اصلی بازیافت در مخازن کربناته‌ای که دارای سنگهایی با کیفیت متوسط و خوب می‌باشد، مطرح است. این پدیده در مورد بلوکهایی با ارتفاع مختلف نیز صادق است. در مورد سنگهایی با کیفیت نازل نیز در صورتی که ارتفاع بلوک بیش از ۲ متر باشد، تزریق گاز موثر خواهد بود. میزان بازیافت نفت در شبیه‌سازی بلوک منفرد و شش بلوک انباشته، در یک محدودده بوده ولی در مورد مدل شش بلوک انباشته تاخیری در حدود ۸ الی ۱۰ سال مشاهده می‌شود که ناشی از پدیده آشام مجدد (Reimbition) می‌باشد.

به منظور فهم بهتر چگونگی ارتباط بین شبکه ماتریس و ترک و به کارگیری مناسبترین روش شبیه‌سازی، نمونه‌ای از یک بلوک ماتریس، مربوط به سازند آسماری، (یکی از مخازن کربناته ایران) که به وسیله شبکه ترک احاطه شده با استفاده از مش‌بندی دانه‌ریز و به کارگیری روش تخلخل یگانه در سنگهایی با کیفیت متفاوت از نظر تراوایی و تخلخل شبیه‌سازی شد. سپس مدل ساخته شده به حالت شش بلوک انباشته بسط داده شد تا مفهوم اثرات بلوک بر بلوک در حالت تزریق گاز مورد بررسی قرار گیرد. نتایج شبیه‌سازی در حالت تخلخل یگانه به صورت بلوک منفرد و شش بلوک انباشته در

## Fine Grid Simulation Study of Gas Injection In One of Iranian Carbonate Reservoirs

Gh.R.Bashiri , Gh.A.Sobhi and A.A.Asgari  
Research Institute of Petroleum Industry  
P.O.Box: 18745-4163, Tehran, Iran

### ABSTRACT

A typical Iranian carbonate matrix block surrounded by an open fracture was modelled in order to understand the fracture-matrix interaction and how to model the interaction best. This was modelled by using a fine-scaled Eclipse model in the single porosity mode. The model was extended to a stack of 6 matrix blocks to understand block-to-block interaction under gas injection scenarios. Results and conclusions from the single porosity single block and 6-block model were used in order to optimize the full field model, and these

recommendations are described briefly in this paper.

The simulation results showed that gas injection works as a major recovery mechanism for medium and good rock types at all block heights; and for poor rock type with block heights of more than 2 meters. The oil recovery results are in the same range as for the single and six stack block model but the delay of oil recovery by gas gravity drainage is clearly seen in the six stack block results indicating at least 8-10 years to reach ultimate oil recovery for typical block heights.

## مقدمه

در سال های اخیر، به کارگیری شبیه‌سازهای عددی در پیش‌بینی رفتار و چگونگی تولید از مخازن هیدروکربنی، بسیار گسترش یافته است. نکته قابل توجه در استفاده از این نرم‌افزارها، به کارگیری صحیح روش تخلخل دوگانه<sup>۱</sup> در شبیه‌سازی مخازن ترکدار می باشد. به هنگام به کارگیری مدل‌های تخلخل دوگانه در شبیه‌سازی مخازن ترکدار، دو نکته باید مورد توجه قرار گیرد:

۱- امکان دارد که مدل عددی حرکت سیال به کار گرفته شده، نشان دهنده حرکت واقعی سیال در محیط متخلخل نباشد. به همین منظور یکی از پدیده‌هایی که باید در مخازن ترکدار مورد مطالعه دقیق قرار گیرد، چگونگی بازیافت از بلوک‌های انباشته شده و تاثیر رفتار بلوکها بر یکدیگر می باشد.

۲- منحنی‌های مربوط به خواص سنگ که در آزمایشگاه به دست آمده است در اندازه‌های مغزه<sup>۲</sup> قابل اعتبار بوده و در تعمیم نتایج به مدل کامل میدان، بایستی دقت لازم به عمل آید.

به طور معمول فهم فیزیکی رفتار میدان در حالت تخلخل دوگانه با استفاده از به کارگیری مدل تخلخل یگانه در حالت دانه‌ریز و سپس تطابق منحنی بازیافت با یک مدل تخلخل دوگانه انجام می‌گیرد. در این روش منحنیهای غیرواقعی فشار موئینگی<sup>۳</sup> و تراوایی نسبی<sup>۴</sup> ساخته شده و در ساخت مدل کامل میدان استفاده می‌شود.

یاماتو از اولین نفراتی بود که با استفاده از شبیه‌سازی دانه‌ریز، پدیده تزریق گاز در مخازن کربناته را مورد بررسی قرار داد [۱]. او نتیجه گرفت میزان بازیافت از یک بلوک منفرد<sup>۵</sup>، تابعی از ارتفاع بلوک خواص شبکه ترک و چگونگی افت فشار در سیستم ترک می باشد.

سعیدی، مخازن شکافدار را با تقسیم آن به سکتورهای مختلف شبیه‌سازی کرد. در این مدل، شبکه ترک دارای قابلیت انتقال سیال به صورت نامحدود در نظر گرفته شده است [۲].

فانگ در سال ۱۹۹۱ با استفاده از شبیه‌سازی دانه‌ریز، اثر پدیده بلوک بر بلوک را در مخازن شکافدار شرح داد [۳]. او در این مقاله نشان داد که اکثر مدل‌هایی که بر اساس روش تخلخل دوگانه عمل می‌کنند در پیش‌بینی رفتار مخزن در فرایند تزریق گاز، دارای نقاط ضعف بسیاری می باشند.

کوساک با انتشار مقاله‌ای در سال ۲۰۰۰، نمونه‌ای از یک مخزن شکافدار را با روش تخلخل یگانه در فرایند تزریق آب شبیه‌سازی کرد [۴]. او نتیجه گرفت که جابجایی نفت در مدل تک تخلخلی به تعداد بلوک‌های شبیه‌سازی، حساس می‌باشد.

هدف اصلی این مقاله، دستیابی به روشی مناسب، برای محاسبه میزان بازیافت نفت در فرایند تزریق گاز به یکی از مخازن کربناته کشور می باشد. لذا در ابتدا مدلی بر اساس روش تخلخل یگانه ساخته و در حالت‌های مختلف، میزان بازیافت نسبت به زمان محاسبه شد، سپس مدل ساخته شده به حالت شش بلوک انباشته بسط داده شد و میزان بازیافت با مدل اولیه مورد مقایسه قرار گرفت تا تاثیر پدیده بلوک بر بلوک در فرایند تزریق گاز مورد ارزیابی قرار گیرد.

## مشخصات میدان

میدان مورد مطالعه، یکی از مخازن هیدروکربنی خشکی است که در فروافتادگی دزفول در ناحیه زاگرس قرار گرفته است. این میدان در سال ۱۹۶۱ کشف و برداشت از آن در سال ۱۹۶۴ آغاز شد. سازندهای آسماری و بنگستان این میدان از نوع سنگهای کربناته ترکدار بوده و تولید اصلی نفت از آنان صورت می‌گیرد. عمق اولیه ستون نفت، حدود ۱۰۰۰ متر و عمق سطح تماس آب و نفت ۱۹۰۰ متر، زیر سطح دریا بوده است. سازند آسماری دارای کلاسهک گازی نسبتاً بزرگی می‌باشد و در حال حاضر عملیات تزریق گاز به منظور

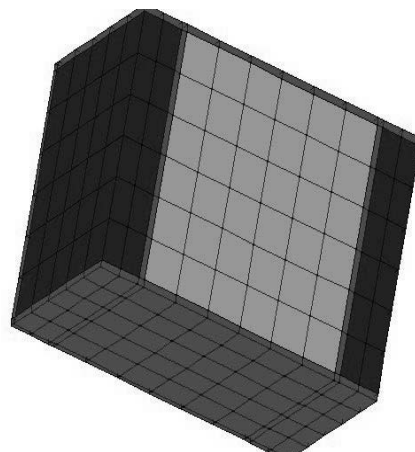
- 
- 1- Dual Porosity
  - 2- Core Scale
  - 3- Pseudo Capillary Pressure
  - 4- Pseudo Relative Permeability
  - 5- Single Block

نگهداشت فشار مخزن در آن صورت می‌گیرد.

### مشخصات مدل

دو نوع مدل مختلف مش‌بندی به صورت مدل ماتریس تک بلوکی و شش بلوک انباشته در شبیه‌سازی استفاده شده است. هر بلوک ماتریس در دو مدل به شش گرید عددی در سه جهت تقسیم‌بندی شده است. هیچ گونه شبیه‌سازی در بلوکها در

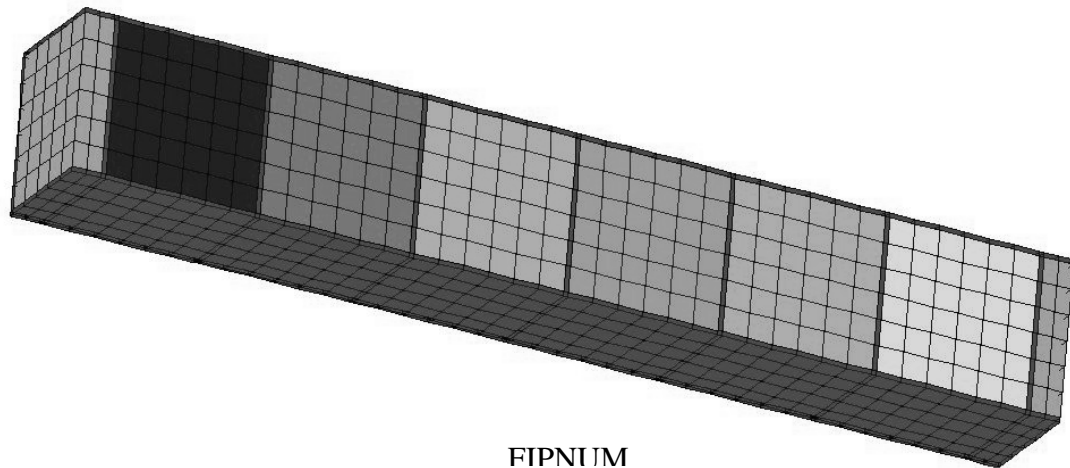
نظر گرفته نشده است. یک لایه از گریدها به عنوان شبکه ترک که بلوک ماتریس را احاطه کرده، در نظر گرفته شده است. شکل های ۱ و ۲ نشانگر مدل ماتریس تک بلوکی و شش بلوک انباشته می‌باشد. جداول ۱ و ۲ نیز ابعاد بلوکها و میزان تراوایی و تخلخل به کار گرفته شده در مدلها را نشان می‌دهد.



FIPNUM



شکل ۱ - مدل تک بلوک منفرد



FIPNUM



شکل ۲ - مدل شش بلوک انباشته

جدول ۱- ابعاد مش بندی در مدل تک بلوک و شش بلوک انباشته

Block size	DX (meter)	DY (meter)	DZ (meter)
1 meter	0.17	0.17	0.17
2 meter	0.33	0.33	0.33
3 meter	0.5	0.5	0.5
5 meter	0.83	0.83	0.83

جدول ۲- خواص شبکه ماتریس و ترک در شبیه سازی تخلخل یگانه

Property	Porosity (%)			Horizontal permeability (md) (permz = 0.5 x permx)		
	Poor	Medium	Good	Poor	Medium	Good
Rock type						
Matrix	6	9	12	0.1	0.5	1.0
Fracture	100	100	100	604.8	604.8	604.8
Dummy block	100	100	100	600	600	600

جدول ۳- مشخصات دبی تولید و تزریق در مدل

Block size	Injection rate (rm <sup>3</sup> /day)	Production rate (rm <sup>3</sup> /day)
1 meter	0.0005	0.0005
2 meter	0.001	0.001
3 meter	0.003	0.003
5 meter	0.008	0.008

گرفته شده اند. در این حالت نفت به حالت تحت اشباع<sup>۳</sup> در شرایط اولیه میدان می باشد. مدلها بر اساس وجود سه فاز آب، نفت و گاز، آغازسازی شده است.

### مشخصات چاهها

در مدل ساخته شده، دو چاه در نظر گرفته شد. چاه تولیدی در لایه پائینی و چاه تزریقی در لایه بالایی تکمیل شده است.

### سیال

بر روی ۱۴ نمونه سیال مخزن، آزمایشات فشار-حجم و دما انجام شده است. ۴ نمونه به صورت سرچاهی<sup>۱</sup> و بقیه نمونه‌ها به صورت ته چاهی<sup>۲</sup> نمونه گیری شده‌اند. هر دو مدل تک بلوکی و شش بلوک انباشته در منطقه‌ای که شدت وجود ترک زیاد باشد و در عمق ۱۰۰۰ متری زیر سطح دریا در نظر

3- Undersaturated

1- Wellhead  
2- Bottom Hole

### نتایج تزریق گاز در بلوک منفرد

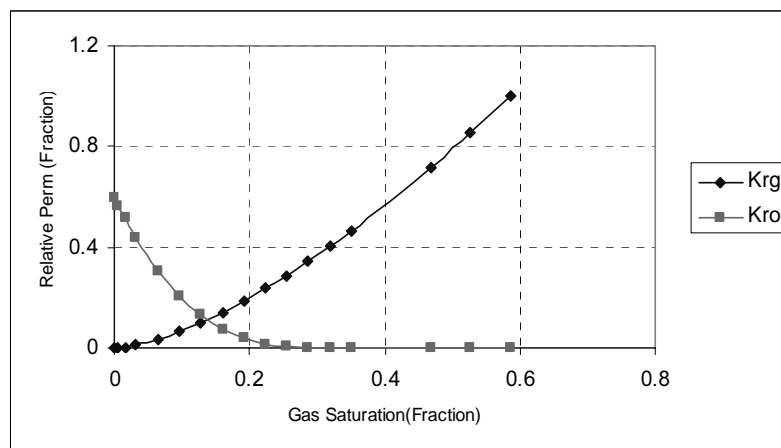
جدول ۴، نتایج تزریق گاز، در طول ۷ سال در سنگهای مختلف را نشان می‌دهد.

دکتر سعیدی پدیده تخلیه در سیستم های گاز-نفت در مخازن ترکدار را مورد بررسی قرار داده است [5]. پدیده تخلیه در سیستم های گاز-نفت، پس از آنکه گاز، سیستم ترک‌ها را اشغال کرد به آهستگی انجام می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در بلوکهای با ارتفاع زیاد و در سنگهای با کیفیت خوب، حد نهایی بازیافت تا قبل از ۷ سال تزریق گاز به دست نمی‌آید. بنابراین پدیده تخلیه در سیستم های گاز-نفت به

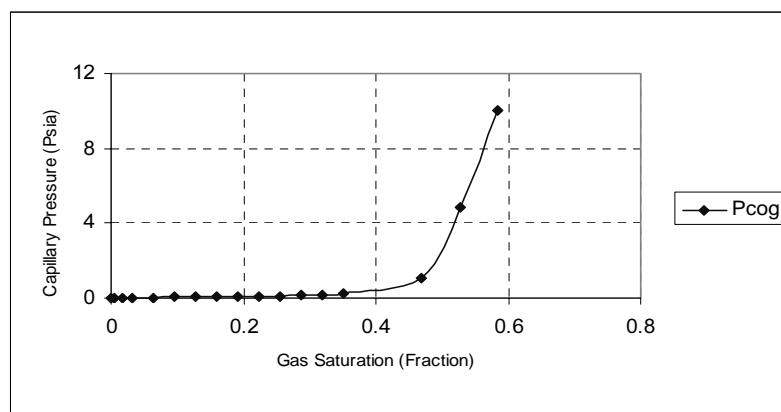
جدول ۳ دبی تزریق و تولید در چاهها را در مدل‌های مختلف نشان می‌دهد.

### آزمایش های ویژه مغزه

دو نمونه اطلاعات مربوط به آنالیز ویژه مغزه از میدان موردنظر موجود و هر دو نمونه مربوط به سازند آسماری می باشد که از مهمترین عوامل عدم اطمینان در آنالیز و تفسیر داده‌های ویژه مغزه است که مربوط به چگونی تعیین نوع ترشوندگی سنگ مخزن می باشد. متأسفانه در این میدان آزمایش مربوط به تعیین نوع ترشوندگی انجام نشده است. نمودارهای ۱ و ۲، منحنی‌های مربوط به تراوایی نسبی و تغییرات فشار موئینگی نسبت به درصد اشباع گاز، در حالت تخلیه را نشان می‌دهد.



نمودار ۱ - تغییرات تراوایی نسبی فاز گاز و نفت (سنگ با کیفیت متوسط)



نمودار ۲ - تغییرات فشار موئینگی در حالت تخلیه (فشار آستانه = ۰.۳ Psia)

### نتایج

۱- در اثر پدیده آشام مجدد، تاخیری در میزان برداشت از مخزن در اثر تزریق گاز مشاهده می‌شود اما بر میزان بازیافت نهایی تاثیری نمی‌گذارد.

۲- در سنگهای کربناته با کیفیت نازل با ارتفاع بلوکهای کمتر از ۲ متر، میزان بازیافت، اندک می‌باشد. در مورد بلوکهای با ارتفاع ۲ متر، میزان بازیافت حدود ۱۱٪ و در مورد بلوکهای با ارتفاع ۵ متر میزان بازیافت حدود ۱۷٪ الی ۱۸٪ می‌باشد.

۳- در مورد سنگهای کربناته با کیفیت متوسط و ارتفاع بلوکهای ۱ متر، میزان بازیافت حدود ۱۰٪ و در مورد بلوکهای با ارتفاع ۵ متر، میزان بازیافت حدود ۳۴٪ می‌باشد.

۴- در مورد سنگهای کربناته با کیفیت خوب و ارتفاع بلوک ۱ متر، میزان بازیافت حدود ۲۲٪ و در مورد بلوکهای با ارتفاع ۵ متر، میزان بازیافت حدود ۴۵٪ می‌باشد.

### فهرست علائم

میلی داریسی = md

سطح تماس آب و نفت = WOC

سطح تماس گاز و نفت = GOC

اندازه بلوک در جهت افقی = DX

اندازه بلوک در جهت جانبی = DY

اندازه بلوک در جهت عمودی = DZ

کندی انجام می‌گرفت. در مورد سنگهایی با کیفیت نازل، پدیده نفوذ گاز در بلوکهای با ارتفاع کمتر از ۲ متر، اتفاق نمی‌افتد. در صد میزان بازیافت در مورد سنگهایی با کیفیت نازل تا کیفیت خوب و بلوکهای با ارتفاع ۲ الی ۵ متر، بین ۱۰ الی ۳۵ درصد می‌باشد. تاثیر تزریق گاز بر میزان بازیافت، بر شکل منحنی فشار موئینگی و حد نهایی نفت قابل برداشت و به میزان درصد اشباع نفت باقیمانده (Sorg)، بستگی خواهد داشت.

### نتایج تزریق گاز در شش بلوک انباشته

جدول ۵ نتایج تزریق گاز، طی ۲۰ سال، در شش بلوک انباشته را در سیستم های سنگهایی با کیفیت مختلف نشان می‌دهد.

نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تزریق گاز به عنوان مکانیزم اصلی بازیافت در سیستم های سنگهایی با کیفیت متوسط و خوب و با ارتفاع بلوک مختلف و در مورد سنگهایی با کیفیت نازل با ارتفاع بلوک بیش از ۲ متر عمل می‌کنند. میزان بازیافت نفت در سیستم بلوک منفرد و شش بلوک انباشته در یک محدوده بوده ولی تاخیر زمانی به اندازه ۸ الی ۱۰ سال در سیستم شش بلوک انباشته مشاهده می‌شود که به دلیل پدیده آشام مجدد می‌باشد.

جدول ۵- نتایج درصد بازیافت در مدل شش بلوک  
انباشته پس از ۲۰ سال تزریق گاز

Recovery factors	Gas injection
In %	
<b>1 meter</b>	
Poor	2.5
Medium	10.0
Good	21.9
<b>2 meter</b>	
Poor	10.9
Medium	24.4
Good	36.9
<b>3 meter</b>	
Poor	16.0
Medium	31.5
Good	41.9
<b>5 meter</b>	
Poor	17.1
Medium	33.8
Good	44.30

جدول ۴- نتایج درصد بازیافت در مدل بلوک منفرد  
پس از ۷ سال تزریق گاز

Recovery factors	1 Matrix block
in %	Gas injection
<b>1 meter</b>	
Poor	2.1
Medium	9.4
Good	20.2
<b>2 meter</b>	
Poor	7.0
Medium	22.1
Good	33.2
<b>3 meter</b>	
Poor	7.0
Medium	26.2
Good	35.4
<b>5 meter</b>	
Poor	5.4
Medium	25.8
Good	34.8

**منابع**

- [1] Yamamoto, Roy h. "Compositional reservoir simulator for fissured system-The single block model "Spej (May 1972)
- [2] Saidi, A.M. "Mathematical Simulation Model Describing Iranian Fractured Reservoirs and Its Application to Haft Kel Field" Proc., Ninth World Pet. Cong., Tokyo (1975)
- [3] Fung, S.K." Simulation of block to block processes in naturally fractured reservoirs" SPERE (Nov 1991)
- [4] Kossak, H."Realistic numerical models for fractured reservoirs" SPERE (Feb2000)
- [5] Saidi, A.M., Tehrani,D.H,and Wit,K. " Mathematical simulation of Fractured Reservoir Performance, Based on Physical Model Experiments, " Tenth World Pet.Cong., Bucharest (1979)